УДК 621.577.24; 697.329.

# К ВОПРОСУ ВЫБОРА ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТА ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

**Токарева А.Н.;**
доцент кафедры «Электроэнергетика и теплоэнергетика», к.т.н., доцент
e-mail: tanna_ing@mail.ru
**Панченко С.В.;**
доцент кафедры «Электроэнергетика и теплоэнергетика», к.т.н.
e-mail: panchenkosergey@mail.ru
**Демченко М.С.;**
доцент кафедры «Электроэнергетика и теплоэнергетика», к.т.н.
e-mail: 24Marija04@mail.ru
Азово–Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Россия

**Аннотация**

В материалах статьи дан краткий анализ способов регулирования тепловой мощности теплонасосной установки. Приведена методика расчета температуры промерзания грунта и температуры хладоносителя. Установлена температура кипения холодильного агента, при которой соблюдается тепловой баланс внешнего контура теплового насоса и внутреннего контура грунтового теплообменника. На основе проведенных расчетов предложен хладоноситель для грунтового теплообменника.

**Ключевые слова:** тепловой насос, грунтовый теплообменник, температура, кипение, конденсация.

# ON THE ISSUE OF CHOOSING THE BOILING POINT OF A REFRIGERATING AGENT OF A HEAT PUMP INSTALLATION

**Tokareva A.N.;**
AssociateProfessor of the Department of "Electric Power and Heat Power Engineering",
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: tanna_ing@mail.ru
**Panchenko S.V.;**
Associate Professor of the Department of "Electric Power and Heat Power Engineering",
Candidate of Technical Sciences
e-mail: panchenkosergey@mail.ru
**Demchenko M.S.;**
Associate Professor of the Department of "Electric Power and Heat Power Engineering",
Candidate of Technical Sciences.,
e-mail: 24Marija04@mail.ru
Azovo-Chernomorsk Engineering Institute,
Donskoy State Agrarian University, Zernograd, Russia

**Annotation**

The article provides a brief analysis of the methods of regulating the thermal power of a heat pump installation. The method of calculating the freezing temperature of the soil and the temperature of the coolant is given. The boiling point of the refrigerant has been set, at which the thermal balance of the external circuit of the heat pump and the internal circuit of the ground heat exchanger is maintained. Based on the calculations carried out, a coolant for a ground heat exchanger is proposed.

**Keywords:** heat pump, ground heat exchanger, temperature, boiling, condensation.

Климатические условия юга России с небольшой глубиной промерзания грунта создают предпосылки для широко применения теплонасосных установок с горизонтальными грунтовыми

теплообменниками. На предприятиях АПК тепловые насосы используются в качестве источника теплоснабжения в тепличных хозяйствах, которые являются крупными потребителями тепловой энергии. Применение теплонасосных установок позволяет снизить потребление природного топлива, повысив тем самым энергоэффективность сооружений защищенного грунта.

В отличие от традиционных систем водяного и воздушного отопления с качественным регулированием тепловых нагрузок, вопросы изменения тепловой мощности, получаемой от теплового насоса, не достаточно широко изучены. К основным мероприятиям по регулированию теплопроизводительности данных установок относятся: использование способа количественного регулирования путем изменения количества теплоносителя системы отопления ($m_{от}$) и изменение температуры конденсации $t_к$.

Температуру конденсации можно изменить следующими способами [1]:

– изменение величины перегрева теплоносителя ($\Delta t_0$) на входе во всасывающую магистраль компрессора;

– изменение показателя политропы ($n$) в процессе сжатия;

– изменение отношения массы циркулирующего холодильного агента ($m$) к массе теплоносителя ($m_{от}$) системы отопления помещения.

Использование первых двух методов ограничивается необходимостью в дополнительном источнике теплоты и возможностью использования только определенных конструкций компрессоров [1]. Также для изменения температуры конденсации $t_к$. рассматриваются варианты замены регулирующего вентиля на второй компрессор [2].

Третий способ непосредственным образом связан с вышеуказанным количественным регулированием и не затрагивает вопросов замены оборудования в традиционных теплонасосных установках. В связи с этим наиболее рациональным вариантом регулирования тепловой мощности, вырабатываемой теплонасосной установкой, является применение количественного регулирования при работе внутреннего контура теплового насоса в определенном температурном интервале.

Вопросы по определению оптимальной температуры конденсации детально рассматривались в работе [3]. В выбранном диапазоне температур от +30°С до +50°С самая высокая теплопроизводительность теплового насоса и наибольший коэффициент трансформации теплоты μ были достигнуты при температуре конденсации $t_к$=30°С.

Что же касается температуры кипения холодильного агента, то данная величина связана с тепловым балансом внешнего контура теплового насоса, контактирующего с теплоносителем грунтового теплообменника и внутренним контуром самого грунтового теплообменника. Рассмотрим определение данной величины применительно к климатическим условиям южных районов Ростовской области.

Определение температуры кипения холодильного агента $t_0$ начинается с расчета глубины промерзания грунта $h_{гр}$, которая определяется следующим образом [4]:

$$h_{\text{гр}} = \sqrt{\sum t_{\text{от}}} \cdot k_{\text{гр}} \quad (1)$$

где $\sum t_{\text{от}}$ – сумма среднемесячных отрицательных температур за год по модулю, принимается по данным [4];

$k_{\text{гр}}$ –коэффициент грунта, принимается по данным [5]. На юге Ростовской области преобладают глинистые и суглинистые почвы, для которых $k_{\text{гр}} = 0{,}23$

Значения отрицательных температур для южных районов Ростовской области представлены в таблице 1[4] .

Таблица 1 – Данные отрицательных среднемесячных температур по Ростовской области

| Месяц | Значения среднемесячной температуры, °С |
|---|---|
| Январь | -3,8 |
| Февраль | -3 |
| Декабрь | -1,2 |
| Сумма | -8 |

Тогда глубина промерзания грунта составит:

$$h_{\text{пр}} = \sqrt{8} \cdot 0{,}23 = 0{,}65\text{м}$$

В соответствии с рекомендациями [6] глубина заложения горизонтальных грунтовых теплообменников принимается на 0,5-0,8 *м* ниже промерзания грунта.

Тогда рекомендуемая глубина заложения грунтовых теплообменников составит:

$$h_{\text{гр}} = h_{\text{пр}} + (0{,}5\ldots{,}8) = 0{,}65 + (0{,}5\ldots0{,}8) = 1{,}15\ldots1{,}45 \text{ м}.$$

Температура поверхности грунта определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{г}} = \bar{t}_{\text{в}} + \left(t_{\text{в срм}} - \bar{t}_{\text{в}}\right) \cdot \exp\left(h_{\text{гр}} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3600 a \tau_0}}\right) \cdot cos\left(\frac{2\pi\tau}{\tau_0} - \varphi_0 - h_{\text{гр}} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3600 a \tau_{\ 0}}}\right) \qquad (2)$$

где $\bar{t}_{\text{в}}$ –среднегодовая температура воздуха рассматриваемого региона, для южных районов Ростовской области $\bar{t}_{\text{в}} = 10^0\text{C}$ [4];

$t_{\text{в срм}}$ – средняя температура самого теплого месяца, для июля $t_{\text{в срм}} = 23{,}5^{\text{o}}\text{C}$ [4];

$\tau$ – время с начала года, для середины января $\tau$=360 ч;

$\tau_0$ – продолжительность года, $\tau_0$=8760 ч;

$\varphi_0$ – сдвиг фазы максимальной температуры по отношению к началу года, $\varphi_0 \sim 1{,}06\ \pi$ [7];

$h_{гр}$ – глубина закладки грунтового теплообменника;

$a$ – температуропроводность грунта. Температуропроводность грунта принимаем равной $\text{a} = 4{,}6 \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ [7].

Результаты расчетов изменения температуры грунта по месяцам отопительного периода при различной глубине представлены в виде гистограмм на рисунке 1.

Как видно из представленных гистограмм, в рассматриваемом диапазоне глубин закладки теплообменников температура грунта изменяется в незначительных пределах, а в марте она практически одинакова. Поэтому для дальнейших исследований принимаем среднее значение температуры грунта для рассматриваемого диапазона глубины по месяцам.

Температура энергоносителя внутри грунтовых теплообменников принимается равной на 5-10°С ниже температуры грунта [8]. Температура кипения холодильного агента на 5-10 ниже температуры энергоносителя и при этом минимум на 10°С выше температуры его кристаллизации.

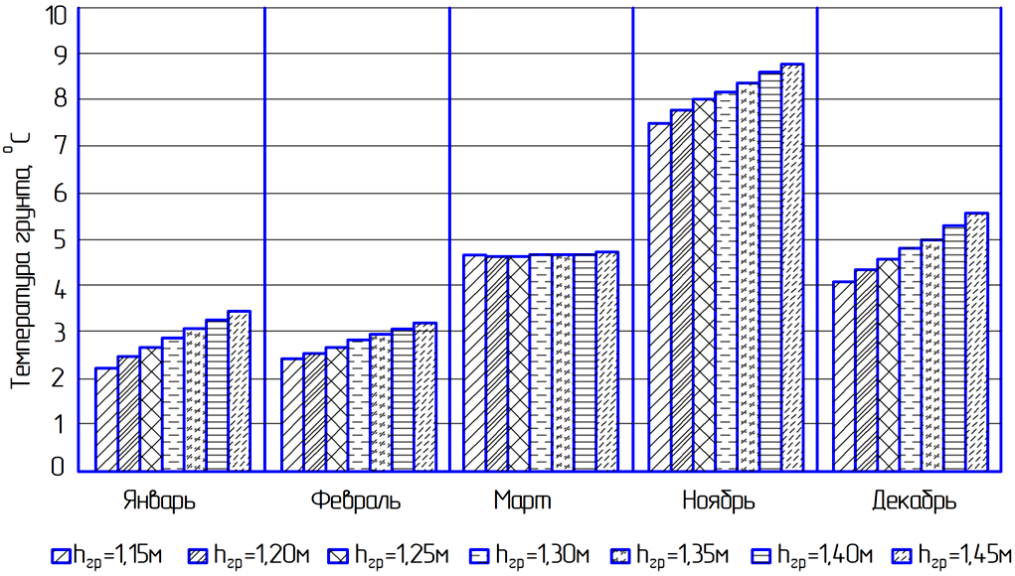



Рисунок 1 – Изменение температуры грунта при различной глубине по месяцам отопительного периода

Для определения рабочего диапазона температур кипения составляем матрицу, представленную в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица для определения рабочего диапазона температур кипения холодильного агента

| Месяц | Средняя по глубине температура грунта за месяц | Температура энергоносителя в грунтовом теплообменнике, °С | | Температура кипения холодильного агента, $t_0$, °С | | Температура кристаллизации энергоносителя | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | max | min | max | min | max | min |
| Январь | 3 | -2 | -7 | -7 | -12 | -17 | -22 |
| Февраль | 3 | -2 | -7 | -7 | -12 | -17 | -22 |
| Март | 5 | 0 | -5 | -5 | -10 | -15 | -20 |
| Ноябрь | 8 | 3 | -2 | -2 | -7 | -12 | -17 |
| Декабрь | 5 | 0 | -5 | -5 | -10 | -15 | -20 |

Из анализа представленной таблицы видно, что только одна величина удовлетворяет рекомендациям по выбору температуры кипения для всего отопительного периода. При температуре кипения $t_0$=-7°С для всех пяти месяцев будет соблюдено условие теплового баланса внешнего контура теплового насоса и внутреннего контура грунтового теплообменника.

Используя данные таблицы 2, можно выбрать энергоноситель внутреннего контура грунтового теплообменника. В последнее время экологами рекомендуется использовать теплоносители на базе водных растворов пропиленгликоля серии ХНТ-НВ [9]. Экологически чистый пропиленгликоль предпочтительнее ранее использовавшегося водного раствора этиленгликоля, невзирая на более высокую стоимость. Теплоносители на этиленгликоле опасны для человека и окружающей среды.

Так как принятая температура кипения $t_0$=-7°С, то температура кристаллизации должна быть не выше -17°С. Поэтому для рассматриваемых условий подходит хладоноситель ХНТ-20 с температурой кристаллизации -20°С.

**Литература**

1. Юша, В.Л. Регулирование температуры конденсации парокомпрессионного теплового насоса на базе поршневой длинноходовой компрессорной ступени при фиксированных температурах воспринимающего теплоносителя / В.Л. Юша, А.Ю. Громов, П.В. Ушаков // Омский научный вестник. Серия: Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2023. Т. 7. № 2. С. 27-35.

2. Юрицин, С.А. Регулирования параметров теплонасосной установки / С.А. Юрицин, А.С. Кизуров // Молодой ученый. 2015. № 65 (86.5). С. 17-21. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://moluch.ru/archive/86/16713/.

3. Филатов, С.О. Метод расчета и анализ совместной работы контура циркуляции грунтовых теплообменников и теплового насоса / С.О. Филатов., В.И. Володин // Труды БГТУ. № Химия и технология неорганических веществ.2013. № 3.С. 161-166.

4. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/573659358

5. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* https://docs.cntd.ru/document/456054206

6. Мельков, Б.Н. Конструктивное решение энергоэффективного грунтового теплообменника для системы вентиляции ИЖС с возможностью режима рекуперации/ Б.Н.Мельков, Н.Г. Дмитриева, А.В. Григорьев // Современные инновации в технике и производстве. Сборник материалов II Международной научно-практической конференции. – Псков, 2022. С. 208-211.

7. Чернышев, Д.А. Работа горизонтальной системы теплосбора в почвенно-климатических условиях Краснодарского края /Д.А. Чернышев // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 6 (81). С. 18-27.

8. Филатов, С.О. Тепловой расчет вертикальных грунтовых теплообменников/ С.О. Филатов//Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2013. № 4. С. 81-90.

9. Руководство по применению теплоносителей ХНТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.teplonositeli.ru/catalog/hnt/rukovodstvo_HNT.pdf

УДК 658.155

## ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Шекихачев Ю.А.;**
профессор кафедры «Техническая механика и физика», д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик, Россия;
e-mail: shek-fmep@mail.ru

**Аннотация**

В статье проанализированы технико-технологические аспекты повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Показано, что применение в земледелии инновационных ресурсосберегающих технологий останавливает деградацию земель, воспроизводит плодородие почвы, обеспечивает охрану земель и рациональное их использование и улучшает экологическое состояние окружающей среды. В то же время наблюдается повышение экономической эффективности аграрного производства и урожайности сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственное производство, техника, технология, почва, деградация, эффективность.

## TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL PRODUCTION

**Shekikhachev Yu.A.;**
Professor at the Department "Technical Mechanics and Physics",
Doctor of Technical Sciences, Professor
FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik, Russia;
e-mail: shek-fmep@mail.ru

**Annotation**

The article analyzes the technical and technological aspects of increasing the efficiency of agricultural production. It has been shown that the use of innovative resource-saving technologies in agriculture stops land degradation, restores soil fertility, ensures land protection and rational use, and improves the ecological state of the environment. At the same time, there is an increase in the economic efficiency of agricultural production and crop yields.

**Keywords**: agricultural production, equipment, technology, soil, degradation, efficiency.

Внедрение в аграрном секторе страны новейших технологий обусловлено снижением плодородия земель, ростом эрозионных процессов, расширением площадей деградированных и загрязненных земель. Землепользование, зачастую, осуществляется с нарушением структуры посевов, и, как следствие, наблюдается истощение почв, развиваются эрозионные процессы, ухудшается качественное состояние сельскохозяйственных угодий [1-5].

В современных условиях аграрии используют инновационные ресурсосберегающие технологии обработки почвы, способствующие повышению эффективности производства и требований по восстановлению окружающей среды. Опыт стран ЕС свидетельствует о том, что эффективно применение технологии хранящего земледелия.